

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НЕСУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СЕПАРАЦИИ

Одной из наиболее востребованных технологий, дающих значительный эколого-экономический эффект, является электродинамическая сепарация металлосодержащих отходов и лома цветных металлов [1-3]. Примерами таких технологий являются сепарация дробленого электронного лома с целью получения селективных концентратов цветных металлов, а также сортировка лома по видам и маркам сплавов при подготовке к металлургическому переделу. В промышленно развитых странах уже в конце XX века появились технологические линии по переработке металлосодержащих отходов, в которых электродинамическая сепарация (чаще всего в бегущем магнитном поле) является одной из обязательных составляющих. В нашей стране пока такие технологии не получили распространения, во многом из-за отсутствия отечественного оборудования. Это обстоятельство обуславливает актуальность исследования и разработки электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем для решения указанных задач. Такие работы ведутся в лаборатории кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета.

Ранее в [4] было показано, что для обработки мелкой фракции дробленого лома в диапазоне крупности 10-50 мм целесообразны электродинамические сепараторы на основе двухстороннего линейного индуктора с подачей материала по наклонной плоскости. Такой сепаратор предполагает верхнюю подачу исходного материала, прохождение его через активную зону линейного индуктора и сбор полученных фракций в приемники продуктов разделения, расположенные внизу наклонной плоскости. Бегущее магнитное поле, создаваемое линейным индуктором, питаемым трехфазным переменным током частотой 50 Гц, наводит в проводящих немагнитных металлических частицах вихревые токи и обеспечивает создание электромагнитного усилия извлечения, направленного в сторону движения поля. Сепарируемые частицы цветных металлов отклоняются от линии подачи и приобретают траектории, зависящие от соотношения электропроводности металла и его удельного веса (γ/ρ). Металлы и сплавы, отличающиеся по указанному показателю, собираются на выходе установки в разные приемники продуктов сепарации.

Рассматриваемый электродинамический сепаратор представляет собой сложную электромеханическую систему, поэтому конечный результат сепарации зависит от совместного действия электромагнитных и механических сил (гравитации, трения, сопротивления среды и др.). При этом одновременно с выбором параметров линейных индукторов следует выбирать и параметры механической части установки, также определяющие эффективность сепарации. Основными параметрами механической части рассматриваемого электродинамического сепаратора, от изменения которых зависят траектории движения сепарируемых частиц, являются: размеры плоскости подачи до индуктора (L_0) и после него (L_n); угол ее наклона (α); скорость конвейера, подающего сепарируемые материалы (V_k); коэффициент трения ($k_{тр}$). В данной работе приводится оценка влияния на характеристики сепаратора коэффициента трения $k_{тр}$. Значение такого коэффициента, а, следовательно, и сил трения зависит от выбора материала плоскости, а также от применения эффекта кипящего слоя (за счет вибрации или пневмоподдува).

Для исследования использована методика расчета электродинамических сепараторов, описанная в [4], которая предполагает построение траекторий движения извлекаемых металлических частиц на основе решения уравнений движения этих частиц в сепараторе с учетом изменения действующих на нее электромагнитных и механических сил. Пример расчета таких траекторий показан на рис. 1.

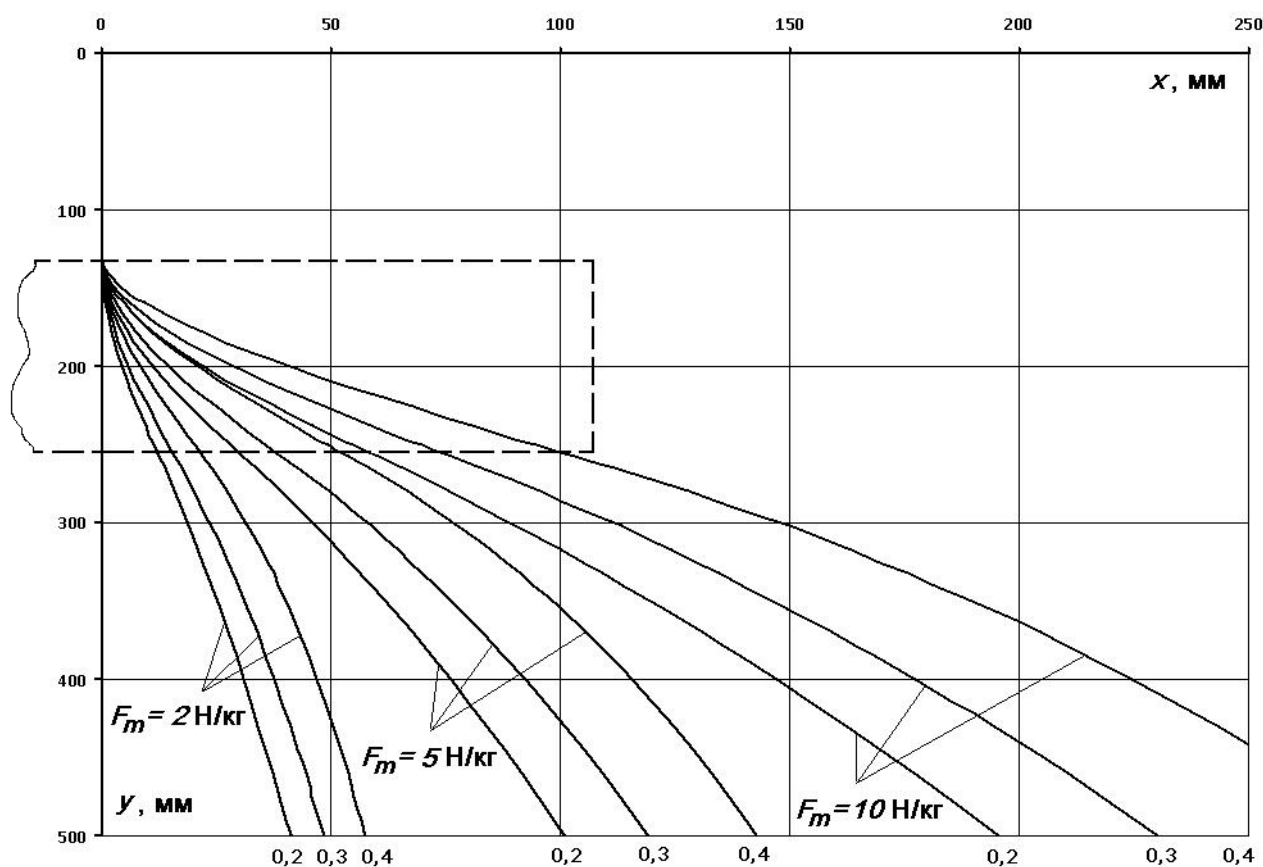


Рис. 1. Изменение траекторий движения сепарируемых частиц при изменении коэффициента трения плоскости подачи

Приведенные траектории рассчитаны при разных значениях удельных электромагнитных усилий $F_m = 2, 5$ и 10 Н/кг, соответствующих действию бегущего магнитного поля двухсторонней линейной индукционной машины (ЛИМ) на частицы разных сплавов в диапазоне крупности 10-40 мм. Расчеты траекторий выполнены для трех значений коэффициента трения $k_{тр} = 0,2; 0,3; 0,4$. Другие параметры сепаратора неизменны: $L_0 = 0$, $L_{и} = 120$ мм, $L_{п} = 300$ мм, $V_k = 0$, и $\alpha = 30^\circ$. Положение линейного индуктора на плоскости показано пунктирной линией. Линия подачи материала совпадает с осью y .

Можно отметить сложный характер движения частиц: после равноускоренного движения до входа в индуктор частица начинает разгоняться в активной зоне под действием электромагнитных сил в направлении оси x , а после выхода из индуктора продолжает двигаться по инерции, увеличивая отклонение от линии подачи. Нетрудно видеть, что различие в удельных электромагнитных усилиях обеспечивает необходимую разницу в итоговых отклонениях частиц разных сплавов от линии подачи, что создает предпосылки для индукционной сортировки сплавов.

Движение за индуктором по инерции позволяет существенно увеличить итоговое отклонение частиц. Особенно это заметно при больших значениях удельного электромагнитного усилия F_m . Увеличение коэффициента трения позволяет увели-

чить разницу в итоговых отклонениях. Это объясняется тем, что повышение силы трения приводит к снижению скорости движения частиц по оси y и к увеличению времени пребывания их в активной зоне. При малых значениях F_m , соизмеримых с величиной механических сил (например, при угле $\alpha = 30^\circ$ удельная скатывающая сила равна 4,9 Н/кг), вектор скорости все больше поворачивается в направлении оси y , поэтому отклонение частиц от линии подачи при движении по инерции возрастает незначительно. При этом изменение траекторий при разных $k_{тр}$ становится менее заметным. Более того, при малых значениях F_m и уменьшении скорости движения частиц вдоль линии подачи (например, за счет снижения L_0 , α или V_k) влияние коэффициента трения на конечный результат становится неоднозначным. Сказанное подтверждается данными рис. 2, где приведены результаты расчетов отклонений частиц от линии подачи для двух значений удельного электромагнитного усилия (а – $F_m = 2$ Н/кг, б – $F_m = 10$ Н/кг) при неизменных параметрах механической части установки ($L_0 = 100$ мм, $L_{и} = 120$ мм, $L_{п} = 400$ мм, $V_k = 0$ и $\alpha = 30^\circ$).

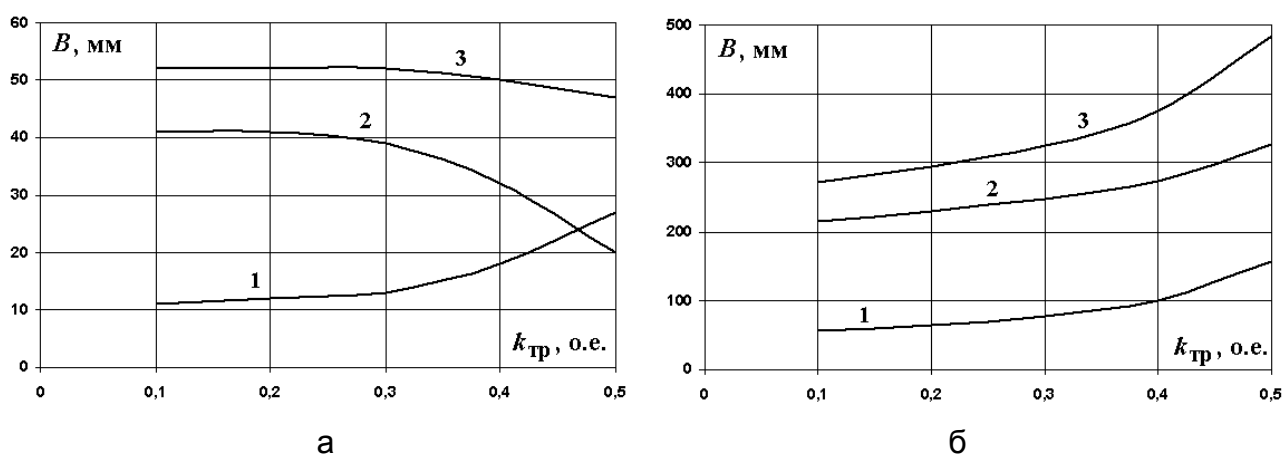


Рис. 2. Влияние коэффициента трения на отклонения сепарируемых частиц от линии подачи: под индуктором (1), за индуктором (2), итоговые (3)

Нетрудно видеть, что при разных значениях F_m характер зависимостей $B(k_{тр})$ меняется на противоположный: при удельных электромагнитных усилиях, не превышающих скатывающей силы, отклонения частиц с ростом $k_{тр}$ могут уменьшаться. Это объясняется, прежде всего, различным расположением векторов электромагнитных и механических сил в активной зоне ЛИМ и направленностью траектории частиц при их движении по инерции за индуктором.

Сказанное подтверждается результатами экспериментальных исследований. На опытной установке электродинамической сепарации на основе двухсторонней ЛИМ были выполнены измерения итоговых отклонений частиц алюминиевых сплавов от линии подачи B при различных материалах наклонной плоскости: из стеклотекстолита ($k_{тр} = 0,40-0,45$) или стекла ($k_{тр} = 0,30-0,35$). Основные данные сепаратора: полюсное деление $\tau = 60$ мм, зазор $\delta = 30$ мм, частота питающего напряжения $f = 50$ Гц, линейная токовая нагрузка индуктора $A_1 = 26$ кА/м (на две стороны - 52 кА/м). Параметры механической части: $V_k = 0$, $L_{п} = 400$ мм и $\alpha = 30^\circ$. Изменялось расстояние от точки подачи до индуктора L_0 . Результаты эксперимента показаны на рис. 3.

Отметим, что расчетные значения удельных электромагнитных усилий, действующих на частицы из алюминиевого сплава АЛ3, составили: при размерах $40 \times 40 \times 2,8$ мм $F_m = 13,8$ Н/кг (больше скатывающей силы), при размерах $20 \times 20 \times 2,8$ мм $F_m = 3,8$ Н/кг (меньше скатывающей силы). Данные эксперимента подтверждают, что в области больших удельных электромагнитных усилий с увеличением коэффициента трения $k_{тр}$ итоговые отклонения сепарируемых частиц растут. В то же время

влияние коэффициента трения на отклонение частиц от линии подачи при малых значениях F_m неоднозначно и зависит от соотношения параметров установки.

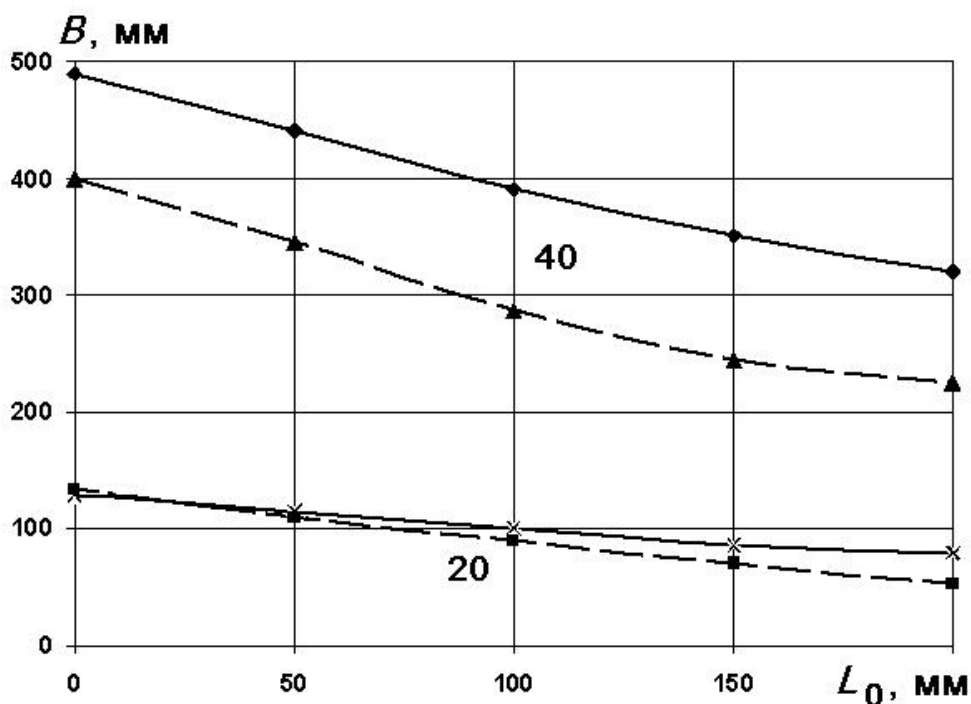


Рис. 3. Зависимости $B(L_0)$ для алюминиевых частиц при разных материалах плоскости подачи: стеклотекстолит – сплошные линии, стекло – пунктир

Таким образом, выполненные исследования показали, что извлекаемые в электродинамическом сепараторе проводящие частицы движутся по сложным траекториям, зависящим от соотношения электромагнитных и механических сил, действующих на частицы. При этом изменение коэффициента трения неоднозначно влияет на результаты сепарации. Это означает, что решения о выборе материала наклонной плоскости, а также о возможности использования эффекта кипящего слоя могут быть приняты только с учетом расчетов характеристик установки для конкретных технологических условий.

Список использованных источников

1. Технология отходов / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. 352 с.
2. Schloemann E. Separation of nonmagnetic metals from solid wastes // J. of Applied Physics, 1975, vol. 46, № 11, p. 5012-5020.
3. Zhang S., Forssberg E., Arvidson B., Moss W. Aluminium recovery from electronic scrap by High-Force eddy-current separators / Resources, Conservation and Recycling, 1998, No 23, pp. 225-241.
4. Анализ электромеханических процессов, определяющих эффективность работы электродинамического сепаратора / Ж.О. Абдуллаев, А.Ю. Коняев, Д.Н. Багин, С.Л. Назаров // Промышленная энергетика, 2015, № 7, с. 48-53.